

哀牢山多花山矾幼苗在森林及模拟森林光环境条件下的生长特征

巩合德¹, 燕 腾¹, 彭一航¹, 郑 丽², 马月伟¹

(1. 西南林业大学 生态旅游学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省科学技术情报研究院, 云南 昆明 650051)

摘要: 对云南省哀牢山常绿阔叶林优势树种多花山矾 *Symplocos ramosissima* 幼苗进行生境选择移栽研究, 把多花山矾幼苗分别置于森林生境及人工遮阳生境中, 测定其基径、株高、叶片数、比叶面积、根冠比、质量相对生长率、总生物量和存活率等生长参数, 以掌握幼苗致死原因及更新特征, 了解森林的演替动态。结果表明: 多花山矾幼苗移栽到不同森林生境后, 各生长参数均在林窗中心最大, 林窗边缘次之, 林冠下最小, 比叶面积则相反。在人工遮阳生境中, 多花山矾幼苗生长参数均随光照强度增加而增大, 而比叶面积则随着光照强度增大而减小。在相近光照强度下, 人工遮阳条件下多花山矾幼苗的各项生长参数均高于森林林窗生境, 幼苗的生长比在自然森林生境中生长得更快。在 1 层(28.36%)和 2 层(8.10%)遮阳网条件下, 多花山矾幼苗的生长参数在土壤含水量较高时最大, 但在 3 层(2.37%)遮阳网条件下, 在不同水分梯度处理中, 多花山矾幼苗的生长参数没有规律。在 1 层遮阳网条件下, 土壤含水量为 20%(干旱胁迫)时, 多花山矾幼苗的生长参数一般都较低。在一定光照强度范围内, 多花山矾幼苗生长都随光照的增强逐渐加快, 林窗中心对多花山矾幼苗生长最有利。土壤含水量也是影响幼苗生长的主要因素, 干旱胁迫可以抑制幼苗的生长发育, 较高的土壤含水量有利于幼苗的定居和生长, 但在较低的光照条件下, 幼苗生长对土壤水分梯度的响应不敏感。表 3 参 23

关键词: 森林生态学; 遮阳试验; 土壤水分; 多花山矾; 幼苗; 生境; 哀牢山

中图分类号: S718.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)02-0237-07

Seedling growth of *Symplocos ramosissima* with manually controlled experimental conditions in the Ailaoshan Mountains, Yunnan Province

GONG Hede¹, YAN Teng¹, PENG Yihang¹, ZHENG Li², MA Yuewei¹

(1. Ecotourism Faculty, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Yunnan Academy of Scientific & Technical Information, Kunming 650051, Yunnan, China)

Abstract: It is very important to study the seedlings growth under the condition of moisture and light. To observe the habitat preference of *Symplocos ramosissima* seedlings in the Ailaoshan Mountains, Yunnan Province, seedlings were transplanted in different environmental conditions. The basal stem diameter, height, leaf number, specific leaf area (SLA), root shoot ratio, relative mass growth rate, total dry weight and survival rate of seedling were measured both in forest habitats (including understory, gap center, and gap edge) and artificially created shading conditions outside of the forest. Results of early growth showed higher values in gap center than in gap edge and the lowest under the forest canopy. Artificial shading experiments revealed a positive relationship to an increase in light intensity; whereas SLA decreased. Also, visible light intensity increased. With artificial shading even for similar light intensities, seedling growth was better than in forest habitats. At a light level of 28.36%, seedling growth was highest at 38.00% soil moisture content, and at an 8.10% light level it was best at

收稿日期: 2014-05-19; 修回日期: 2014-10-10

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(31200482); 西南林业大学科研启动基金资助项目

作者简介: 巩合德, 副教授, 博士, 从事森林生态学、恢复生态学等研究。E-mail: gonghede3@163.com

48.0% soil moisture content. Early growth at 2.4% light exhibited no pattern with soil moisture. At 20.00% soil moisture (drought stress) and 28.4% light, seedlings grew slowly. Thus, low soil moisture and drought stress can inhibit the growth of seedlings, but seedling growth of *S. ramosissima* at low light levels was not sensitive to the soil moisture gradient. [Ch, 3 tab. 23 ref.]

Key words: forest ecology; shading experiment; soil moisture; *Symplocos ramosissima*; seedlings; habitats; Ailaoshan Mountains

水分是影响幼苗生长的关键因子之一,水分胁迫能够明显地限制幼苗的生长。幼苗比叶面积(specific leaf area, SLA)随水分胁迫的加强而降低,幼苗较小的比叶面积能够增加单位叶面积对二氧化碳的吸收量,还可以在土壤水分亏缺时提高水分的利用效率^[1]。此外,植物可通过降低幼苗的比叶面积来调整光合产物在叶片中的分配,以防御干旱带来的叶片损伤。植物还可通过改变生物量在不同器官之间的分配和提高净同化效率以抵抗水分胁迫^[2]。由于林窗、林隙等冠层干扰的存在,林下更新树种的幼苗处于一个复杂的光环境中,从而有可能产生不同的更新策略^[3]。林下更新幼苗对异质性光环境的生理和形态响应可能决定着这些树种在发育早期的适应机制及最终是否能够达到冠层。关于林下更新幼苗对于弱光环境的响应和适应机制,相关研究给出了“逃离”和“坐待”2种不同的假说^[4]。在荫蔽环境下,如果一种植物比另一种植物具有更高的相对生长率(relative growth rate, RGR),那么它在全光照下则表现为较低的相对生长率^[5]。林窗对大多数树种的更新并不必要,因为乔木幼苗可以利用林下弱光照而使幼苗成功定居和并发育为大树^[6]。于洋等^[7]对热带雨林中的绒毛番龙眼 *Pometia tomentosa* 幼苗早期定植的研究表明,不同的光照强度对幼苗生长有不同影响,其幼苗在弱光环境下能够长期存活并缓慢生长,但在林窗环境下有较高的相对生长速率。在哀牢山的中山湿性常绿阔叶林中,树种幼苗对不同生境的适应能力如何?它们是否具有不同的适应对策和生境选择行为?多花山矾 *Symplocos ramosissima* 是哀牢山中山湿性常绿阔叶林林下优势树种^[8]。本研究比较多花山矾幼苗在不同生境中的生长表现,研究多花山矾幼苗的生境选择行为。通过这些研究可以找出幼苗致死原因及更新特征,为当地常绿阔叶林的物种多样性保护和森林管理提供科学依据。

1 研究地区概况

研究区域位于云南省中部的哀牢山国家级自然保护区的徐家坝地区,地理位置为 24°32'N, 102°01'E, 海拔为 2 400~2 600 m。根据哀牢山森林生态系统研究站的长期监测资料,研究区域的平均年降水量为 1 931 mm,旱季、雨季分明,雨季(5-10月)的降水量占年降水量的 85%左右。年平均蒸发量为 1 485 mm,年平均气温为 11.3 °C,最热月(7月)气温为 16.4 °C,最冷月(1月)气温为 5.4 °C,无霜期为 200 d 左右。土壤的成土母质由片岩、片麻岩和闪长岩组成,多发育为典型的黄棕壤,土壤肥沃、偏酸性(pH 4.4 - 4.9),土壤表面由厚度为 3~7 cm 的凋落物层覆盖,土壤有机碳、全氮和全磷分别为 129.1, 5.2 和 0.6 g·kg⁻¹,土壤表面的碳氮比为 14.4,深度为 30~50 cm 土壤的碳氮比为 15.3^[9]。

哀牢山的中山湿性常绿阔叶林保护完好,主要由壳斗科 Fagaceae,山茶科 Theaceae,樟科 Lauraceae 和木兰科 Magnoliaceae 等的树种组成。其中:壳斗科的硬壳柯 *Lithocarpus hancei*,木果柯 *Lithocarpus xylocarpus*,变色锥 *Castanopsis rufescens*;茶科的南洋木荷 *Schima noronhae*,翘柄紫茎 *Stewartia pteropetiolata*,云南连蕊茶 *Camellia forrestii*;樟科的黄心树 *Machilus gamblei*,黄丹木姜子 *Litsea elongata*,木兰科的红花木莲 *Manglietia insignis*,多花含笑 *Michelia floribunda* 是乔木层的主要优势种。此外,林中藤本植物和附生植物也相当丰富和发达,层间植物以木质大藤本为常见,附生植物以苔藓和蕨类植物为主,形成奇特的森林景观^[8]。

2 研究材料与方法

在森林中,选择多花山矾正常生长的幼苗(幼苗形态、生长状况基本差不多,高度 10 cm 左右),随机选取 10 株幼苗杀青后,在 85 °C 烘箱中烘干 48 h 后称量,得到幼苗原生物量。

在样地内选择 3 个立地条件基本一致的林窗(大小 100~200 m²),设置林窗中心、林窗边缘和林下等

3 种生境，并分别放置 10 盆幼苗，共 90 株幼苗，作为林外控制研究的对照。该研究从 2009 年 6 月 21 日开始，至 2010 年 8 月 25 日结束。

在林外建立不同梯度的遮阳实验，分别用 1 层(光照强度为林外裸地的 28.36%)，2 层(光照强度为林外裸地的 8.10%)和 3 层(光照强度为林外裸地的 2.37%)黑色尼龙遮阳网，重复 3 次·光处理⁻¹，共计 9 个荫棚(规格为 8 m×8 m×3 m)。荫棚四周封闭至距地面 20 cm 处，保持地表空气流通。在荫棚内用透明塑料遮雨，各光水平下平均分成 4 个小区，设置 4 个土壤水分条件：20.00%，28.00%，8.00%，48.00%(体积含水量)，分别代表极端干旱条件、2005–2006 年最低土壤含水量、中度土壤含水量和最高土壤含水量的林下土壤水分条件(参阅哀牢山生态站的长期监测数据)。用土壤水分测量仪(moisture probe meter, MPM-160)测量幼苗 3 盆·组⁻¹·d⁻¹，然后补充相同的水分，将土壤水分含量控制在相对应范围内(±2.00%)。相邻 2 小间距留出 100 cm 的通道，放置幼苗 10 盆·小区⁻¹，共计 360 株幼苗。该实验从 2009 年 6 月 21 日开始，至 2010 年 8 月 25 日结束。

对多花山矾幼苗生长和生理特征进行测定，每月记录幼苗株高(seedling height, SH)，基径(basal stem diameter, BSD)，叶片(复叶)数(leaf number, LN 或 compound leaf number)，单株叶面积(leaf area per seedling, LAPS)。计算单株叶面积方法：随机采 3 个幼苗叶片回室内，用扫描仪(epson)获得待测叶片的平面图像，统计图像中叶片所占的像素数，乘以每个像素所占的实际面积就可以计算出叶片的面积；1 a 后将幼苗分根、茎(含分枝)和叶片杀青后，在 85 °C 烘箱中烘干 48 h 后分别称量。计算幼苗的总生物量(total dry weight, TDW)，根冠比(root shoot ratio, RSR)，幼苗比叶面积(specific leaf area, SLA)，质量相对生长速率(relative mass growth rate, RGR_M)。计算公式如下：根冠比(RSR)=根干质量(root dry weight)/茎叶干质量(stem+leaf dry weight)；幼苗比叶面积(SLA)=叶面积(leaf area)/叶片干质量(leaf dry weight)；质量相对生长速率(RGR_M)=(ln w₂-ln w₁) / (t₂-t₁)。其中：w₁ 为幼苗移栽前总干质量，w₂ 为幼苗移栽前总干质量，t₁ 为幼苗移栽日期，t₂ 为幼苗收获日期。

3 结果

3.1 野外幼苗存活及生长

林窗中心的光强大约是林外裸地的 12.50%，林窗边缘的光强约是林外裸地的 5.40%，林下的光强约是林外裸地的 2.00%。在这 3 种野外光照环境下，多花山矾幼苗除比叶面积、根冠比和存活率外，其他所有生长参数均在林窗中心最大，林窗边缘次之，林冠下最小。比叶面积和根冠比则为林冠下>林窗边缘>林窗中心，存活率则表现为林窗边缘>林窗中心>林冠下(表 1)。多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量和比叶面积等在林窗中心与林窗边缘及与林冠下均存在着显著差异，但在林窗边缘与林冠下均无显著差异。根冠比、质量相对生长速率、总生物量和存活率等在各生境之间均无显著差异(表 1)。

表 1 不同光照梯度的森林生境对多花山矾幼苗生长的影响(平均值±标准差)

Table 1 Effects of different gradients of irradiance in forest habitats on the early growth of *Symplocos ramosissima* seedling (mean±SD)

生长环境	基径/cm	株高/cm	叶片数	比叶面积/ (cm ² ·g ⁻¹)	根冠比	质量相对生长 率/(mg·d ⁻¹)	总生物量/g	存活率/%
林窗中心	1.29 ± 0.25 a	7.11 ± 1.81 a	8.59 ± 4.39 a	197.49 ± 40.01 b	0.29 ± 0.04 a	4.46 ± 2.56 a	3.92 ± 1.10 a	90.00 ± 17.32 a
林窗边缘	0.84 ± 0.09 b	4.90 ± 1.20 b	3.77 ± 2.74 b	254.87 ± 19.16 a	0.35 ± 0.09 a	1.13 ± 1.62 a	2.49 ± 0.70 a	100.00 ± 0.00 a
林冠下	0.76 ± 0.28 b	3.42 ± 0.77 b	2.62 ± 0.76 b	259.38 ± 13.81 a	0.38 ± 0.02 a	1.10 ± 0.74 a	2.47 ± 0.32 a	80.00 ± 20.00 a

说明：相同字母表示在不同生境间无显著性差异(P<0.05)。

3.2 树种幼苗对不同光环境的响应差异

在土壤含水量为 38.00%(中度土壤含水量)条件时，多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量、质量相对生长速率和总生物量等均随光照强度的增加而增大，而比叶面积随光照强度的增大而减

小。在1层遮阳网条件下的基径增量、高度增量、叶片增量、根冠比、质量相对生长速率和总生物量等均显著高于3层遮阳网条件,比叶面积则显著小于3层遮阳网条件(表2)。

表2 38.00%水分条件下3个光处理对多花山矾幼苗生长的影响(平均值±标准差)

Table 2 Effects of three light levels on the early growth of *Symplocos ramosissima* seedlings at 38.00% soil moisture in shading experiment (mean ± SD)

光照条件/%	基径/cm	株高/cm	叶片数	比叶面积/ (cm ² ·g ⁻¹)	根冠比	质量相对生长 率/(mg·d ⁻¹)	总生物量/g	存活率/%
28.36	5.31 ± 0.48 a	25.92 ± 5.25 a	38.52 ± 1.49 a	128.87 ± 12.79 c	0.34 ± 0.06 a	43.63 ± 14.51 a	20.76 ± 6.24 a	93.33 ± 5.77 a
8.10	3.56 ± 0.45 b	19.46 ± 3.17 a	28.38 ± 12.40 a	185.07 ± 13.44 b	0.28 ± 0.02 c	17.69 ± 6.83 b	9.61 ± 2.94 b	83.33 ± 20.82 a
2.37	1.57 ± 0.69 c	9.11 ± 2.85 b	10.80 ± 6.27 b	278.79 ± 52.48 a	0.32 ± 0.07 b	5.74 ± 2.65 c	4.47 ± 1.14 c	90.00 ± 10.00 a

说明:相同小写字母表示同一树种在不同生境间无显著性差异($P < 0.05$)。

3.3 树种幼苗在不同光环境下对土壤水分梯度的响应

1层遮阳网条件下,多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、质量相对生长速率和总生物量等在土壤水分条件含量为38.00%时最大,但在20.00%时最小(高度增量除外),比叶面积和根冠比在土壤含水量为38.00%时最小。其幼苗叶片增量在土壤含水量为48.00%时最大,存活率最低。而基径增量在土壤含水量为38.00%和48.00%时显著高于20.00%和28.00%时,幼苗的高度增量在土壤含水量38.00%时显著高于20.00%时。土壤含水量为48.00%时,其幼苗的叶片增量、质量相对生长速率和总生物量均显著高于20.00%时(表3)。

2层遮阳网条件下,多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量、根冠比、质量相对生长速率和总生物量等在土壤含水量为38.00%时最大,而在土壤含水量为28.00%时最小,含水量为38.00%时比叶面积最小,28.00%时最大。根冠比在土壤含水量为28.00%时最大,存活率在土壤含水量为48.00%时最高。土壤含水量为38.00%和48.00%时的高度增量显著高于28.00%时。土壤含水量为38.00%叶片增量显著高于28.00%,其比叶面积却显著小于28.00%(表3)。

表3 不同光照强度和不同水分条件对多花山矾幼苗生长的影响(平均值±标准差)

Table 3 Effects of the four water moisture levels on the early growth of *S. ramosissima* seedlings at three light level (mean ± SD)

遮阳网层数	水分条件/%	基径/cm	株高/cm	叶片数	比叶面积/ (cm ² ·g ⁻¹)	根冠比	质量相对生长 率/(mg·d ⁻¹)	总生物量/g	存活率/%
1	20.00	3.63 ± 0.35 b	20.44 ± 1.42 bc	32.73 ± 8.01 bc	130.09 ± 7.71 a	0.42 ± 0.13 a	25.12 ± 6.88 bc	12.80 ± 2.96 bc	93.33 ± 5.77
	28.00	4.06 ± 0.36 b	20.69 ± 1.59 ab	28.02 ± 5.21 bc	137.60 ± 14.79 a	0.37 ± 0.03 a	31.03 ± 4.24 ab	15.34 ± 1.82 ab	93.33 ± 5.77 a
	38.00	5.31 ± 0.48 a	25.92 ± 5.25 a	38.52 ± 1.49 ab	128.87 ± 12.79 a	0.34 ± 0.06 a	43.63 ± 14.51 ab	20.76 ± 6.24 ab	93.33 ± 5.77 a
	48.00	5.28 ± 0.50 a	25.67 ± 6.64 ab	42.82 ± 7.26 a	133.56 ± 7.23 a	0.36 ± 0.00 a	46.01 ± 7.71 a	21.79 ± 3.31 a	83.33 ± 15.28 a
2	20.00	2.42 ± 0.45 a	15.59 ± 2.89 ab	16.11 ± 16.47 ab	215.92 ± 42.17 ab	0.31 ± 0.03 a	12.38 ± 3.79 a	7.32 ± 1.63 a	90.00 ± 10.00 a
	28.00	2.35 ± 0.32 a	12.59 ± 1.87 bc	14.90 ± 2.93 bc	224.40 ± 28.77 a	0.32 ± 0.06 a	10.27 ± 0.78 a	6.42 ± 0.34 a	86.67 ± 15.28 a
	38.00	3.56 ± 0.45 a	19.46 ± 3.17 a	28.38 ± 12.40 a	185.07 ± 13.44 bc	0.28 ± 0.02 a	17.69 ± 6.83 a	9.61 ± 2.94 a	83.33 ± 20.82 a
	48.00	3.21 ± 0.16 a	18.70 ± 4.43 ab	26.39 ± 4.83 ab	206.27 ± 30.59 ab	0.24 ± 0.02 a	15.09 ± 0.85 a	8.49 ± 0.37 a	93.33 ± 11.55 a
3	20.00	1.47 ± 0.63 a	8.60 ± 1.09 a	6.15 ± 2.39 ab	236.88 ± 65.75 a	0.30 ± 0.02 a	3.77 ± 3.43 ab	3.62 ± 1.47 ab	80.00 ± 10.00 a
	28.00	1.01 ± 0.39 a	7.34 ± 1.31 a	3.74 ± 1.07 bc	283.14 ± 46.33 a	0.29 ± 0.01 a	1.03 ± 0.22 bc	2.44 ± 0.09 bc	76.67 ± 23.09 a
	38.00	1.57 ± 0.69 a	9.11 ± 2.85 a	10.80 ± 6.27 a	278.79 ± 52.48 a	0.32 ± 0.07 a	5.74 ± 2.65 a	4.47 ± 1.14 a	90.00 ± 10.00 a
	48.00	1.45 ± 0.55 a	8.37 ± 4.31 a	5.14 ± 1.62 ab	264.84 ± 47.92 a	0.27 ± 0.05 a	2.76 ± 2.73 ab	3.18 ± 1.17 ab	86.67 ± 15.28 a

说明:相同字母表示在不同生境间无显著性差异($P < 0.05$)。

3层遮阳网条件下,多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量、根冠比、质量相对生长速率、总生物量和存活率等均在土壤含水量为38.00%时最大,而在土壤含水量为28.00%时最小(根冠比除外),土壤含水量38.00%时的叶片增量、质量相对生长速率和总生物量显著高于28.00%(表3)。

在1层遮阳网条件下,和其他水分条件相比,土壤含水量为20.00%时,多花山矾幼苗的基径增量、

高度增量、质量相对生长速率和总生物量等都最低。2 层遮阳网条件下, 和其他水分条件相比, 土壤含水量为 20.00% 时, 多花山矾幼苗各生长参数均不是最低(表 3)。3 层遮阳网条件下, 和其他水分条件相比, 土壤含水量 20.00% 时, 多花山矾幼苗的比叶面积最小(表 3)。

4 讨论

4.1 野外幼苗存活及生长

移栽至林内多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量和质量相对生长率等林窗中心>林窗边缘>林冠下, 比叶面积则相反, 而且其幼苗基径增量、高度增量和叶片增量等林窗中心显著高于林窗边缘与林冠下, 林窗中心比叶面积显著低于林窗边缘和林冠下。

Poorter 等^[10]研究表明: 林窗中心幼苗的生物量积累是林下生境的 10~33 倍。刘庆^[11]对丽江云杉 *Picea likiangensis* 幼苗生长与存活的研究结果表明, 林窗与林冠下幼苗大小和幼苗存活数量差异明显; 林窗内各龄级的岷江冷杉 *Abies faxoniana* 幼苗生物量大于林冠下同龄级的幼苗^[12], 定居后幼苗的比叶面积都随光照强度的减弱而增大^[13]。林下植物为了更多获取光照, 普遍靠增大比叶面积^[14]。多花山矾幼苗比叶面积在林下显著大于林窗中心, 说明幼苗对弱光及光照不足的环境能够表现出增大比叶面积以增强对光的吸收。多花山矾幼苗的根冠比均在林冠下最大, 这和霍常富等^[15]的研究不一致, 可能与林冠下和林窗环境的水分差异有关。林窗中心光照充足, 幼苗则将更多的生物量投资于地上部分, 主要用于枝和叶的生长, 有助于增强对光强的吸收^[14]。研究表明: 林窗中心更有利于多花山矾幼苗的生长, 林窗的出现一定程度上促进了多花山矾幼苗的更新。

4.2 树种幼苗对不同光环境的响应差异

在人工遮阳不同的光照梯度下, 多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量等均随光照强度增加而增大, 而比叶面积随光照强度增大而减小, 这和林窗不同生境的研究结果一致, 也和闫兴富等^[16]的研究结果一致。幼苗形态学方面的生长调节可提高其在遮阳环境中的光截获量, 表现为幼苗比叶面积随光照的减弱而增大^[17]。比叶面积的变化可能是植物维持最优捕获光能的一种自我平衡机制, 因为在同样的干物质下具有更大的叶面积可以补偿光合有效辐射的降低, 而光照充足时比叶面积的降低一方面可以避免强烈太阳辐射的杀伤作用, 另一方面可以吸收足够的太阳辐射, 这是幼苗对不同光照条件在叶形态上做出的适应性调整, 也说明光照是影响比叶面积的重要因素^[18]。

本研究结果表明: 光是影响植物生长的重要环境因子。在一定光照强度范围内, 幼苗生长随光照增强而增强。但人工遮阳条件下幼苗根冠比均在较强光强(裸地光强的 28.36%) 时最大, 这和野外实验研究结果相反, 可能是人工遮阳条件和野外实验条件土壤含水量条件不同造成。人工遮阳条件模拟林窗环境与森林林窗环境相比, 人工遮阳下幼苗的各项生长指标均高于森林林窗环境(多花山矾幼苗的根冠比除外), 这种差异可能是光质不同造成的, 人工遮阳环境与森林生境光质的差异可能会影响幼苗的多种形态学特征。对热带和温带地区树种幼苗生长的研究结果证明, 生长于连续光照环境中的幼苗比生长于光照强度波动环境中的幼苗具有更高的相对生长率^[19]。因此, 在相同光照强度的人工遮阳环境中, 幼苗的生长可能比自然森林生境更快。

4.3 树种幼苗在不同光环境下对土壤水分梯度的响应

在 1 层和 2 层遮阳网条件下, 多花山矾幼苗的基径增量、高度增量、叶片增量等在土壤体积含水量为 38.00% 或 48.00% 时最大, 表明土壤含水量也是影响幼苗生长的主要因素, 较高的土壤含水量有利于幼苗的定居和生长, 这和王晓冬等^[20]研究结果一致; 而较低的土壤含水量可能造成多花山矾幼苗叶片和茎的失水萎焉, 抑制其幼苗生长^[21]。

在 1 层遮阳网条件下, 多花山矾幼苗的基径增量、质量相对生长速率和总生物量在土壤含水量为 20% 时都最低。这说明干旱胁迫下, 树种幼苗根系吸收不到足够水分, 各器官生长发育都受到限制, 进而影响到植物的正常生长。干旱胁迫时, 植物幼苗更倾向于将资源分配给根系, 但限制叶片生长, 使光合总面积减小, 光合总产物也减少, 从而提高了根冠比^[22]。然而, 多花山矾幼苗的根冠比在干旱条件时并不是最大, 说明在干旱条件下, 幼苗对水分胁迫可能是长期的适应过程, 其形态结构也是对于干旱长期适应的结果。另外, 由于该研究区域降雨充足, 温度较低, 蒸发较小, 多花山矾幼苗受干旱胁迫的程度

相对较小,所以森林生境下多花山矾幼苗对土壤水分变化不敏感。在3层遮阳网条件下,多花山矾幼苗的生长参数在土壤含水量为20.00%时大多不是最低值,说明在较低光照条件下,土壤水分条件对幼苗生长影响不大。

5 主要结论

光照强度是影响植物生长的重要环境因子,在一定光照强度范围内,在森林及模拟森林光环境条件下,多花山矾幼苗生长都随光照的增强逐渐加快。在相近光照强度下,人工遮阳条件下幼苗的生长比在自然森林生境中生长得更快。

土壤含水量也是影响多花山矾幼苗生长的主要因素,较高的土壤含水量有利于幼苗的定居和生长。但在较低的光照条件下,多花山矾幼苗生长对土壤水分梯度的响应不敏感。但在1层遮阳网条件下,土壤含水量为20.00%(干旱胁迫)时,多花山矾幼苗的生长参数一般都较低,这说明干旱胁迫抑制了幼苗的生长发育。

6 参考文献

- [1] BURSLEM D F R P, GREBB P J, TURNER I M. Responses to simulated drought and elevated nutrient supply among shade-tolerant tree seedlings of lowland tropical forest in Singapore [J]. *Biotropica*, 1996, **28**(4b): 636 – 648.
- [2] LAMBERS H, POORTER H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and consequences [J]. *Adv Ecoll Res*, 1992, **23**(1): 188 – 261.
- [3] 陈圣宾, 宋爱琴, 李振基. 森林幼苗更新对光环境异质性的响应研究进展[J]. *应用生态学报*, 2005, **16**(2): 365 – 370.
CHEN Shengbin, SONG Aiqin, LI Zhenji. Research advance in response of forest seedling regeneration to light environmental heterogeneity [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16**(2): 365 – 370.
- [4] 闫兴富, 王建礼, 周立彪. 光照对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, **7**(22): 1682 – 1688.
YAN Xingfu, WANG Jianli, ZHOU Libiao. Effects of light intensity on *Quercus liaotungensis* seed germination and seedling growth [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **7**(22): 1682 – 1688.
- [5] THOMAS S C, BAZZAZ F A. Asymptotic height as a predictor of photosynthetic characteristics in Malaysian rain forest trees [J]. *Ecology*, 1999, **80**(5): 1607 – 1622.
- [6] OSUNKOYA O O, ASH J E, HOPKINS M S, *et al.* Influence of seed size and seedling ecological attributes on shade-tolerance of rain-forest tree species in northern Queensland [J]. *J Ecol*, 1994, **82**(1): 149 – 163.
- [7] 于洋, 曹敏, 郑丽, 等. 光对热带雨林冠层树种绒毛番龙眼种子萌发及其幼苗早期建立的影响[J]. *植物生态学报*, 2007, **31**(6): 1028 – 1036.
YU Yang, CAO Min, ZHENG Li, *et al.* Effects of light on seed germination and seedling establishment of a tropical rainforest canopy tree, *Pometia tomentosa* [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2007, **31**(6): 1028 – 1036.
- [8] 邱学忠. 哀牢山森林生态系统研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998: 12 – 27.
- [9] 巩合德, 张一平, 刘玉洪, 等. 哀牢山常绿阔叶林林冠的截留特征[J]. *浙江林学院学报*, 2008, **25**(4): 469 – 474.
GONG Hede, ZHANG Yiping, LIU Yuhong, *et al.* Interception capability in an evergreen broad-leaved forest of Ailaoshan, Yunnan Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25**(4): 469 – 474.
- [10] POORTER L, HAYASHIDA-OLIVER Y. Effects of seasonal drought on gap and understory seedlings in a Bolivian moist forest [J]. *J Trop Ecol*, 2000, **16**(4): 481 – 498.
- [11] 刘庆. 林窗大小和位置对丽江云杉自然更新幼苗存活和生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, **10**(3): 281 – 285.
LIU Qing. Effects of gap size and within gap position on the survival and growth of naturally regenerated *Picea likiangensis* seedlings [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **10**(3): 281 – 285.
- [12] 鲜骏仁, 胡庭兴, 张远彬, 等. 林窗对川西亚高山岷江冷杉幼苗生物量及其分配格局的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, **18**(4): 721 – 727.

- XIAN Junren, HU Tingxing, ZHANG Yuanbin, *et al.* Effects of forest canopy gap on *Abies faxoniana* seedling's biomass and its allocation in subalpine coniferous forest of west Sichuan [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, 18(4): 721 – 727.
- [13] 王博轶, 冯玉龙. 生长环境光强对 2 种热带雨林树种幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 23 – 30.
- WANG Boyi, FENG Yulong. Effects of growth light intensities on photosynthesis in seedlings of two tropical rain forest species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, 25(1): 23 – 30.
- [14] 左娟, 王戈, 唐源盛, 等. 领春木幼苗形态及生物量分配对光环境的响应[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 85 – 89.
- ZUO Juan, WANG Ge, TANG Yuansheng, *et al.* The Response of morphological plasticity and biomass allocation of *Euptelea pleiospermum* seedlings to different light regimes [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, 26(21): 85 – 89.
- [15] 霍常富, 王政权, 孙海龙, 等. 光照和氮交互作用对水曲柳幼苗生长、生物量和氮分配的影响应用[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1658 – 1664.
- HUO Changfu, WANG Zhengquan, SUN Hailong, *et al.* Interactive effects of light intensity and nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedlings growth, biomass, and nitrogen allocation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, 19(8): 1658 – 1664.
- [16] 闫兴富, 曹敏. 不同光照梯度的遮阴处理对绒毛番龙眼幼苗生长的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(6): 465 – 472.
- YAN Xingfu, CAO Min. Effects of shading treatments on the growth of *Pometia tomentosa* seedlings [J]. *J Trop & Subtrop Bot*, 2007, 15(6): 465 – 472.
- [17] STEEGE H T, BOKDAM C, BOLAND M, *et al.* The effects of man made gaps on germination, early survival, and morphology of *Chlorocardium rodiei* seedlings in Guyana [J]. *J Trop Ecol*, 1994, 10(2): 245 – 260.
- [18] 许中旗, 黄选瑞, 徐成立, 等. 光照条件对蒙古栎幼苗生长及形态特征的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1121 – 1128.
- XU Zhongqi, HUANG Xuanrui, XU Chengli, *et al.* The impacts of light conditions on the growth and morphology of *Quercus Mongolica* seedlings [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(3): 1121 – 1128.
- [19] BLOOR J M G. Light responses of shade-tolerant tropical tree species in north-east Queensland: a comparison of forest-and shadehouse-grown seedlings [J]. *J Trop Ecol*, 2003, 19(2): 163 – 170.
- [20] 王晓冬, 叶生欣, 沈海龙, 等. 不同土壤水分条件对真桦幼苗形态特征、生物量及光合生理特征的影响[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(5): 22 – 24.
- WANG Xiaodong, YE Shengxin, SHEN Hailong, *et al.* Effect of soil water regimes on morphological characteristics, biomass and photosynthetic and physiological characters of *Betula maximowicziana* seedlings [J]. *J Northeast For Univ*, 2008, 36(5): 22 – 24.
- [21] 姚史飞, 尹丽, 胡庭兴, 等. 干旱胁迫对麻疯树幼苗光合特性及生长的影响[J]. 四川农业大学学报, 2009, 27(4): 444 – 449.
- YAO Shifei, YIN Li, HU Tingxing, *et al.* Effects of drought stress on photosynthetic characteristic and growth of *Jatropha curcas* L. seedlings [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2009, 27(4): 444 – 449.
- [22] 李晓清, 胡学煜, 左英强, 等. 水分胁迫对希蒙得木幼苗生物量的影响[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(5): 19 – 22, 27.
- LI Xiaoqing, HU Xueyu, ZUO Yingqiang, *et al.* Effect of water stress on biomass allocation of *Simmondsia chinensis* seedlings [J]. *J Southwest For Coll*, 2009, 29(5): 19 – 22, 27.
- [23] 李芳兰, 包维楷, 吴宁. 白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5406 – 5416.
- LI Fanglan, BAO Weikai, WU Ning. Morphological and physiological responses of current *Sophora davidii* seedlings to drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(10): 5406 – 5416.